

明細書

水素ガス及び水素火炎監視方法及び装置

技術分野

[0001] 本発明は、肉眼で見えない水素ガス及び水素火炎を可視画像化することにより水素ガスの漏洩及び水素火炎の発生の有無を遠方から安全且つ高精度に行う技術に關し、更に詳しくは、例えば、水素供給ステーションや燃料電池などの水素ガス利用設備の運用のために、誤検知が少なく連續監視が可能な水素ガス及び水素火炎の監視方法及び装置に関する。

背景技術

[0002] 従来の可燃性漏洩ガス検知は、吸引したガスをセンサー部分に直接接触させて電気抵抗や電流値などの変化を以てガス濃度を計測するものである。しかしながら、従来のガス検知器では、一つの検知器が監視できる領域が狭く、ガスがその検知器に到達しない限りは検知は不可能というセンサー式のものであったため、風向きや設置位置によってはガス漏れの際の失報に繋がる危険性があった。また、例えば、ガス精製所等においては非常に多数のガス検知器の設置が必要となり、費用的な問題も大きかった(特許文献1)。

[0003] 一方、上記問題を解決するために、遠隔よりガス漏れの存在を監視するガス可視化装置が提案されている。このガス可視化装置では、測定対象ガスの吸収波長をもつ赤外線レーザーを照射するレーザー光源を用いて、背景から反射される赤外線の漏洩ガスによる吸収をイメージセンサーで撮像し、2次元可視画像化して表示するものである。

[0004] しかしながら、このような従来のガス可視化装置では、非常に大型で強力なレーザー光源が必要であり、価格的な問題が大きく、また、天候状態や温度により得られる2次元画像が大きく影響され、ガス漏れの発生と太陽の射しこみの区別がつきにくいという問題もあり、実際のガス監視には適していなかった(特許文献2)。

特許文献1:特開平6-307967号公報

特許文献2:特開平6-288858号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] 水素ガスは、無色・透明・無臭であり、水素ガスを利用・貯蔵する環境では、ガスが滞留する場所に定置式の可燃性ガス検知器を設置してガスの漏洩監視を行うが、漏洩箇所の特定は携帯用のガス検知器を携えた係員の巡回点検に委ねられていた。このため、ガスの漏洩検知と漏洩箇所の特定を行う連続的な監視技術が求められていた。
- [0006] また、火炎の発する紫外線を検出して警報を発報させる装置が実用化されているが、昼間時の太陽光の下では火炎が肉眼で見えない水素火炎は、当該装置が動作しても着火位置を安全に特定することは不可能であるため、最適な処置を講じることが困難であった。しかも、検出する紫外線の波長域が広いため、火炎の発する以外の紫外線(例えば、ガラス窓に反射した太陽光線)までも検出することがあり、誤動作が多いなど信頼性に欠けているという問題がある。
- [0007] 加えて、水素ガスと水素火炎を同時に監視しようとする場合、水素ガスの監視波長と水素火炎の監視波長が異なる場合が多くあり、これに対応するためには観測波長を切り替える機構あるいはそれぞれの観測波長用の検出器が必要であり、装置構成が複雑になるという問題があった。
- [0008] さらに、レーザーを照射して水素ガスのラマン散乱光を観測する場合、外乱光によるノイズの発生により監視精度が下がるという問題がある。注意すべき外乱光には、(i)太陽光、(ii)反射光、(iii)監視対象内にある壁材や水・油膜等からの蛍光の3つがある。特にレーザーに起因する蛍光は、照射レーザー光の波長よりも長波長側に広範囲に出現し水素ガスの検知を妨害するが、根本的な対応方法は提言されていなかった。
- [0009] そこで、上記課題を解決するために、本発明は、肉眼で見えない水素ガスと水素火炎を可視画像化し、さらには外乱光を排除する仕組みを取り入れることで高精度に水素ガス及び水素火炎の監視をする方法及び装置を提供することを目的とする。
- ### 課題を解決するための手段
- [0010] 本発明は、このような強い要望にこたえるためになされたものであり、レーザー光を

照射すると、分子の吸収エネルギーに相当するエネルギーだけレーザー光の波長がシフトするラマン散乱現象を用い、このラマン散乱光の空間強度分布を画像化することで水素ガスの漏洩を検知するものである。

- [0011] 水素ガスのラマン散乱光波長は、照射レーザー光の波長を変えることで変更することができるが、実用的なものとするためには選択できるレーザー装置が限られるため、本発明においては、水素ガスの監視波長を水素火炎が発する紫外線発光スペクトル波長と同じになるようにレーザー光源波長を選択した。

- [0012] また、外乱光によるノイズを最小限とするための工夫もある。

太陽光による影響を少なくするためにには、画像取り込みの時間ゲートを短くすることで対応している。すなわち、パルス幅の短いレーザー光を照射した時に短時間だけパルス状に発光する水素ガスのラマン散乱光だけを時間を限って観測することで、短時間では微弱な強度である太陽光線の影響を最小限とすることができます。

反射光については、光学バンドパスフィルターの透過波長を狭くすることで対応している。すなわち、検出する紫外線の波長域が狭いため、水素ガスあるいは火炎の発する紫外線だけを検出することが可能となる。

蛍光については、反ストークスラマン散乱波長に相当する波長を監視波長に利用することで対応している。すなわち、蛍光は必ず照射レーザー光よりも長波長に出現することから、レーザー光よりも短波長の反ストークス光を監視することで、蛍光による影響を最小限とすることができます。しかしながら、反ストークス光はかなり微弱であり、通常は測定が難しい。そこで、レーザー光と水素のラマンスペクトル波長に一致したレーザー光をミキシングすることで、強い反ストークスラマン散乱光が発生する仕組みを構成した。

- [0013] 本発明は、以下の(1)～(7)の水素ガス及び水素火炎監視方法である。

(1) 監視対象空間に照射した2以上の異なるレーザー光に起因する波長概ね309nmの被検出光を集光し、電子画像に変換し、增幅し、再度光学像に変換することで特定波長の空間強度分布を画像化することを特徴とする水素ガス及び水素火炎監視方法。

(2) 前記レーザー光は、1以上の波長が概ね355nmのレーザー光源と、1以上の

波長が概ね416nmのレーザー光源である上記(1)の水素ガス及び水素火炎監視方法。

(3) 前記レーザー光をパルス状に照射し、レーザー光の照射パルスに同期して受光の開閉を行い、前記被検出光が発光する時間帯のみ前記集光を行う上記(1)又は(2)の水素ガス及び水素火炎監視方法。

(4) 前記概ね416nmのレーザー光源に、色素レーザー、チタンサファイアレーザー、光パラメトリック発振レーザー又は水素ラマンセルを使用することを特徴とする上記(1)ないし(3)のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視方法。

(5) さらに監視対象空間の背景画像を撮像し、当該背景画像と前記特定波長の空間強度分布の画像とを重畠させることを特徴とする上記(1)ないし(4)のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視方法。

(6) 前記背景画像の撮像は、309nm、355nm及び416nmの波長に不感であることを特徴とする上記(5)の水素ガス及び水素火炎監視方法。

(7) レーザー光の照射時に水素ガスを監視し、レーザー光の非照射時に水素火炎を監視することを特徴とする上記(1)ないし(6)のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視方法。

[0014] また、本発明は、以下の(8)ー(14)の水素ガス及び水素火炎監視装置である。

(8) 2以上のレーザー光源と、監視対象空間におけるレーザー光に起因する波長概ね309nmの被検出光を集光手段と、当該被検出光を電子画像に変換し、増幅し、再度光学像に変換する結像手段と、特定波長の空間強度分布の画像化手段とを有することを特徴とする水素ガス及び水素火炎監視装置。

(9) 前記2以上のレーザー光源は、1以上の波長が概ね355nmのレーザー光源と、1以上の波長が概ね416nmのレーザー光源である上記(8)の水素ガス及び水素火炎監視装置。

(10) 前記レーザー光照射手段はレーザー光をパルス状に照射し、さらにレーザー光の照射パルスに同期して受光の開閉を行うイメージインテンシファイナーを有し、前記被検出光が発光する時間帯のみ前記集光を行う上記(8)又は(9)の水素ガス及び水素火炎監視装置。

(11) 前記概ね416nmのレーザー光源は、色素レーザー、チタンサファイアレーザー、光パラメトリック発振レーザー又は水素ラマンセルであることを特徴とする上記(8)ないし(10)のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視装置。

(12) さらに背景画像の撮像手段を有し、当該撮像手段による画像と前記特定波長の空間強度分布の画像とを重畠させる手段を有することを特徴とする上記(8)ないし(11)のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視装置。

(13) 前記撮像手段は、309nm、355nm及び416nmの波長に不感であることを特徴とする上記(12)の水素ガス及び水素火炎監視装置。

(14) レーザー光の照射時に水素ガスを監視し、レーザー光の非照射時に水素火炎を監視することを特徴とする上記(8)ないし(13)のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視装置。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、水素火炎の発光と水素ガスのラマン散乱光の紫外光像のみを選択し、撮像化するので、無色・透明の肉眼では見えない水素火炎と水素ガスを認識可能となる。

[0016] 本発明の装置は、観測波長を切り替える必要がないため、受光装置を複数用意する必要が無く、装置構成をコンパクトなものとすることができます。

[0017] 本発明によれば、太陽光、反射光、蛍光等の外乱光によるノイズの影響を最小限にすることが可能であり、誤検知の少ない高精度な監視が可能となる。

発明を実施するための最良の形態

[0018] 本発明は、一般的に使用されているQスイッチヤグレーザーの第3高調波である概355nmのレーザー光と、この355nmのレーザー光の一部で光励起して水素のラマンシフトに相当する波長で発振させた概416nmのレーザー光を、水素ガスに同時に照射した時のラマン散乱光の波長が、火炎中のOH基の発光スペクトルのピーク波長である309nmと完全に同一になることに着目して、309nmの光の空間強度分布を画像化して水素ガスの漏洩と水素火炎の検知を行うものである。

[0019] 以下、本発明の実施の一態様を図面を用いて説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

- [0020] 図1は本発明の装置構成である。図1において、符号10は本発明の実施の形態にかかる第1の撮像手段を、符号20はレーザー光照射手段を、符号30は第2の撮像手段を、符号40は時間同期制御手段を、符号50は画像処理手段を示す。
- [0021] 本発明においては、第2の撮像手段30を用いて監視区域の可視画像を撮影し、第1の撮像手段10で水素火炎あるいは水素ガスの映像を撮影し、画像処理手段50で上記2つの画像を重ねて表示する。このとき、水素ガスを監視する場合は、時間同期制御手段40によってレーザー光照射手段20と第1の撮像手段10を動作させ、レーザー照射に同期させて第1の撮像手段10で映像を撮影する。
- [0022] 水素ガス漏洩監視装置はガスと火炎の撮像手段としての撮像装置10を備えている。図1の符号11は集光光学系としての対物レンズ、符号12は透過光選択手段としての光学バンドパスフィルター、符号13は紫外光撮像手段としてのイメージインテンシファイナー、符号14は撮像素子である。対物レンズ11は、レンズ及び鏡筒を備えたものであり、観察対象の像をイメージインテンシファイナー13の光電面に結像可能とされている。
- [0023] イメージインテンシファイナー13の筐体の光学バンドパスフィルター12側には薄膜の外部光電効果を有する光電面が設けられており、光学バンドパスフィルター12からの紫外光は光電面によって電子像に変換される。この電子像は電子レンズで収束されてマイクロチャンネルプレートによって2次電子増倍され、蛍光面で再度光学像に戻されることによって水素ガスからの微弱な誘導ラマン散乱光あるいは火炎からの紫外線は可視像に変換される。イメージインテンシファイナー13の蛍光面の可視像は接眼レンズ系と電子的撮像素子を用いることによって、ガスと火炎の画像を電気的に捉えることができ、無色・透明のガスと火炎が監視可能となる。
- [0024] 水素ガス漏洩監視装置は、水素ガスからのラマン散乱光を誘起するためのレーザー照射装置20を備えている。符号21はQスイッチYAGの第3高調(波長:概355nm)レーザー発振装置、符号22は波長355nmの光励起で発振するレーザー(波長:概416nm)発振装置、符号23はレーザー光分配器、符号24は鏡、符号25はレーザー光重ね合わせ用鏡、符号26はレーザービーム拡大用レンズである。
- [0025] YAGレーザー発振装置21から放射される355nmのレーザー光はレーザー光分

配器23によって分配され、一部のレーザー光が光励起レーザー発振装置22に照射され416nmのレーザーを発振させる。レーザー分配器23を透過したレーザー光は鏡24で反射され、レーザー光重ね合わせ用鏡25で反射され、355nmと416nmのレーザー光がレーザービーム拡大用レンズ26を介して監視対象空間に照射される。

- [0026] 光励起レーザー装置22は、色素レーザー、チタンサファイアレーザーあるいは非線形光学効果を利用した光パラメトリック発振や水素ラマンセルが利用できる。なお、このような構成を採用することで、2台の光源を同時に照射することができ、装置構成をコンパクトなものとすることを可能としている。
- [0027] 照射レーザー光の波長が355nmと416nmであり、本実施例の観測波長が309nmとレーザー光の波長よりも短波長であり、レーザー光に誘起される蛍光が必ず照射レーザー光の波長よりも長波長に出現することから、水素ガス観測における周辺蛍光の影響を防止できる。
- [0028] 水素ガス漏洩監視装置は、監視対象領域を背景画像として撮影する第2の撮像装置30を備えている。符号31は電子撮像素子、符号32は対物レンズ、符号33は短波長遮断光学フィルターである。撮影対象波長領域は短波長遮断光学フィルター33によって概420nm以上に設定されている。撮像装置30における波長選択条件は、少なくとも、火炎のOH基の発光波長と水素ガスからのラマン散乱波長である309nmおよび照射レーザー光の波長である355nmと416nmの光を透過しないか不感となっている。
- [0029] また、レーザー照射に起因する蛍光が、監視対象領域を背景画像として撮影する第2の撮像装置30に悪影響をおよぼすほど強く観測される場合は、レーザー照射信号と同期して、レーザーが照射されていない時間帯に画像を撮影するようにしても良い。
- [0030] 水素ガス漏洩監視装置は、水素ガスからのラマン散乱光を誘起するためのレーザー照射装置20と水素ガスのラマン散乱光の撮像手段としての撮像装置10の時間同期を行う時間同期制御装置40を備えている。時間同期制御装置40は、前述のイメージインテンシファイヤー付き紫外線対応用の撮像装置10とレーザー照射装置20とがケーブルを介して接続されている。

- [0031] 水素ガスを監視する場合に、レーザー光の照射パルスに同期させてイメージインテンシファイナー13の電子レンズに印加する電圧を制御してマイクロチャンネルプレートへの電子の到達をON/OFFさせることにより、レーザーに起因する水素ガスの誘導ラマン散乱光を観測する時間帯の光のみをマイクロチャンネルプレートで増倍する。このON/OFFのゲート動作により、太陽光や照明光あるいは火炎からの外乱の影響を最小限に抑えることができる。
- [0032] 水素火炎のOH基から発せられる光は連続して発光しており、これに対して水素ガスのラマン散乱光はレーザーが照射されている時間だけに発光する。このため、レーザー光が照射されていない時間帯あるいはレーザー照射を停止して撮像素子で309nmの光を受光することで火炎の発光を、レーザー光照射の時間に同期して撮像素子で309nmの光を受光することで水素ガスのラマン散乱光を、それぞれ区別して観測できる。
- [0033] 水素ガス漏洩監視装置は、画像処理装置50を備えている。符号51は画像処理プログラムを有するパーソナルコンピュータ、符号52は表示用モニターである。パーソナルコンピュータ51には、前述のイメージインテンシファイナー付き紫外線対応用の撮像装置10と、背景画像撮像手段としての撮像装置30と、時間同期制御装置40がケーブルを介して接続されている。
- [0034] パーソナルコンピュータ51は監視制御を行う監視制御プログラムと画像処理プログラムを備えており、キーボード或いはマウス等の入力手段で構成される。
- [0035] 監視制御プログラムは、水素ガスあるいは火炎が検出されたときに文字及び音で警報を発生し、若しくは監視事務所等に通報する機能を有する。また、対象ガスの供給停止或いは防火処理を行うよう設定しても良い。
- [0036] 画像処理プログラムは、イメージインテンシファイナー付き紫外線対応用の撮像装置10の画像と、背景画像撮像手段としての撮像装置30の画像を一つのモニター画面52の中に同時に表示する機能を有し、背景画像の中に水素火炎および水素ガス画像を認識しやすい色に着色して重ねて表示可能とされている。
- [0037] 図2及び図3に本発明を裏付ける実験データを示す。
- 図2は、水素ガスを燃焼させた場合の紫外線領域の発光スペクトル分布である。こ

の実験では、レーザー照射装置20はレーザー発振を停止している。受光は1000マイクロ秒の時間帯で行った。

なお、水素火炎の発光は309nmにピークを持ち $\pm 5\text{nm}$ のスペクトル幅で観測される。水素火炎の発光の観測時間(受光時間)を短くすると受信信号が弱くなり、1マイクロ秒以下の観測時間帯では画像化が困難であった。

- [0038] 図3は、レーザー照射装置20からレーザーを照射して水素ガスを観察した場合の分光スペクトルである。この実験では、光励起レーザー装置22に色素レーザーを用いており、YAGレーザーおよび色素レーザーの発振パルス幅は約10ナノ秒である。色素はBIS-MSB(*p*-bis(*o*-methylstyryl)benzene)を1ミリモルの濃度でジオキサンに溶解して使用した。受光はレーザー照射から100ナノ秒の時間帯で行った。図3に示すように、355nmと416nmの光を同時に照射した場合に309nmの発光が観測され(図3(a))、どちらかのレーザー光を遮断した場合には309nmの光は観測されなくなる(図3(b)と(c))。

- [0039] このように355nmと416nmの異なる波長を有するレーザー光をミキシングすることで、いずれかの波長のレーザー光を照射した際には観測することができなかつた水素ガスを監視することが可能となった。

更には、水素ガスのラマン散乱光のピーク波長と水素火炎の紫外線発光のピーク波長は、共には309nmであり完全に一致するため、水素ガスの漏洩と水素火炎の発生とを309nmの波長の紫外線光で監視することが可能となった。

- [0040] レーザー照射装置20のYAGレーザー21を動作させることでガス監視を行うことができ、YAGレーザー21を停止することで火炎監視を行うことができる。このようにYAGレーザー21の発振／停止操作だけでガスと火炎の監視態勢を切り替えることができる。

図面の簡単な説明

- [0041] [図1]本願の実施の形態に係る漏洩ガス撮像装置1の構成を示す模式図
[図2]水素火炎の紫外線領域の発光スペクトル分布を示す図
[図3a]水素ガスから発せられるラマン散乱光の分光スペクトルを示す図(355nmと416nmのレーザーを照射した場合)

[図3b]水素ガスから発せられるラマン散乱光の分光スペクトルを示す図(355nmのレーザーだけを照射した場合)

[図3c]水素ガスから発せられるラマン散乱光の分光スペクトルを示す図(416nmのレーザーだけを照射した場合)

符号の説明

- [0042] 10 水素ガス・火炎撮像装置
11 対物レンズ
12 光学バンドパスフィルター (透過光選択手段)
13 イメージインテンシファイナー(紫外光撮像手段)
14 電子撮像素子
20 レーザー照射装置
21 QスイッチYAGの第3高調(波長:355nm)レーザー発振装置
22 光励起で発振するレーザー(波長:416nm)発振装置
23 レーザー光分配器
24 鏡
25 レーザー光重ね合わせ用鏡
26 レーザービーム拡大用レンズ
30 監視対象領域を撮影する撮像装置
31 電子撮像素子
32 対物レンズ
33 短波長遮断光学フィルター
40 時間同期制御装置
50 画像処理装置
51 パーソナルコンピュータ
52 表示用モニター

産業上の利用可能性

- [0043] 本発明の水素ガス及び水素火炎の監視方法及び装置によれば、水素供給ステーションや燃料電池などの水素ガス利用設備において、誤検知が少ない連続監視が

可能となる。

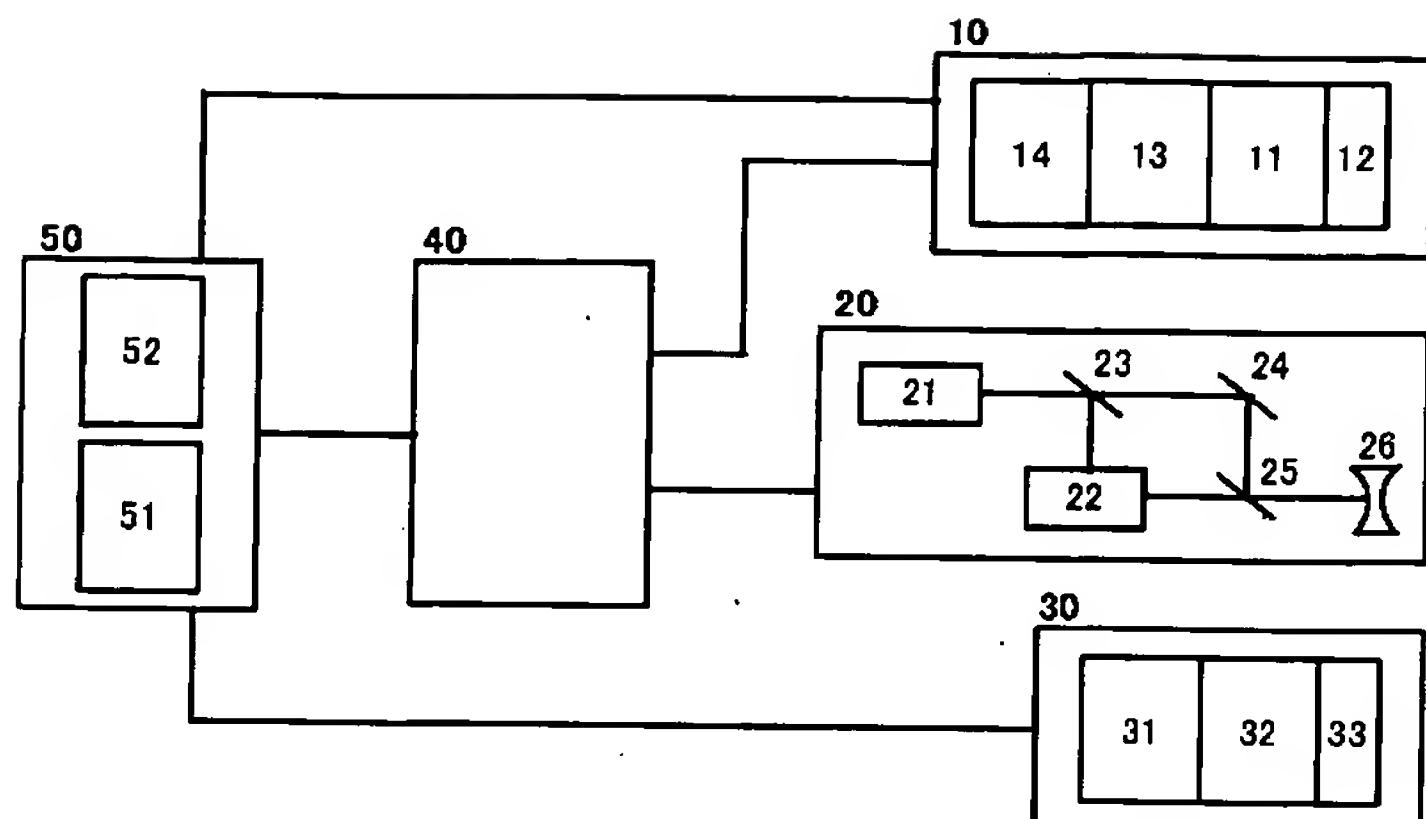
請求の範囲

- [1] 監視対象空間に照射した2以上の異なるレーザー光に起因する波長概ね309nmの被検出光を集光し、電子画像に変換し、增幅し、再度光学像に変換することで特定波長の空間強度分布を画像化することを特徴とする水素ガス及び水素火炎監視方法。
- [2] 前記レーザー光は、1以上の波長が概ね355nmのレーザー光源と、1以上の波長が概ね416nmのレーザー光源である請求項1の水素ガス及び水素火炎監視方法。
- [3] 前記レーザー光をパルス状に照射し、レーザー光の照射パルスに同期して受光の開閉を行い、前記被検出光が発光する時間帯のみ前記集光を行う請求項1又は2の水素ガス及び水素火炎監視方法。
- [4] 前記概ね416nmのレーザー光源に、色素レーザー、チタンサファイアレーザー、光パラメトリック発振レーザー又は水素ラマンセルを使用することを特徴とする請求項1ないし3のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視方法。
- [5] さらに監視対象空間の背景画像を撮像し、当該背景画像と前記特定波長の空間強度分布の画像とを重畠させることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視方法。
- [6] 前記背景画像の撮像は、309nm、355nm及び416nmの波長に不感であることを特徴とする請求項5の水素ガス及び水素火炎監視方法。
- [7] レーザー光の照射時に水素ガスを監視し、レーザー光の非照射時に水素火炎を監視することを特徴とする請求項1ないし6のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視方法。
- [8] 2以上のレーザー光源と、
監視対象空間におけるレーザー光に起因する波長概ね309nmの被検出光の集光手段と、
当該被検出光を電子画像に変換し、增幅し、再度光学像に変換する結像手段と、
特定波長の空間強度分布の画像化手段とを有することを特徴とする水素ガス及び水素火炎監視装置。
- [9] 前記2以上のレーザー光源は、1以上の波長が概ね355nmのレーザー光源と、1

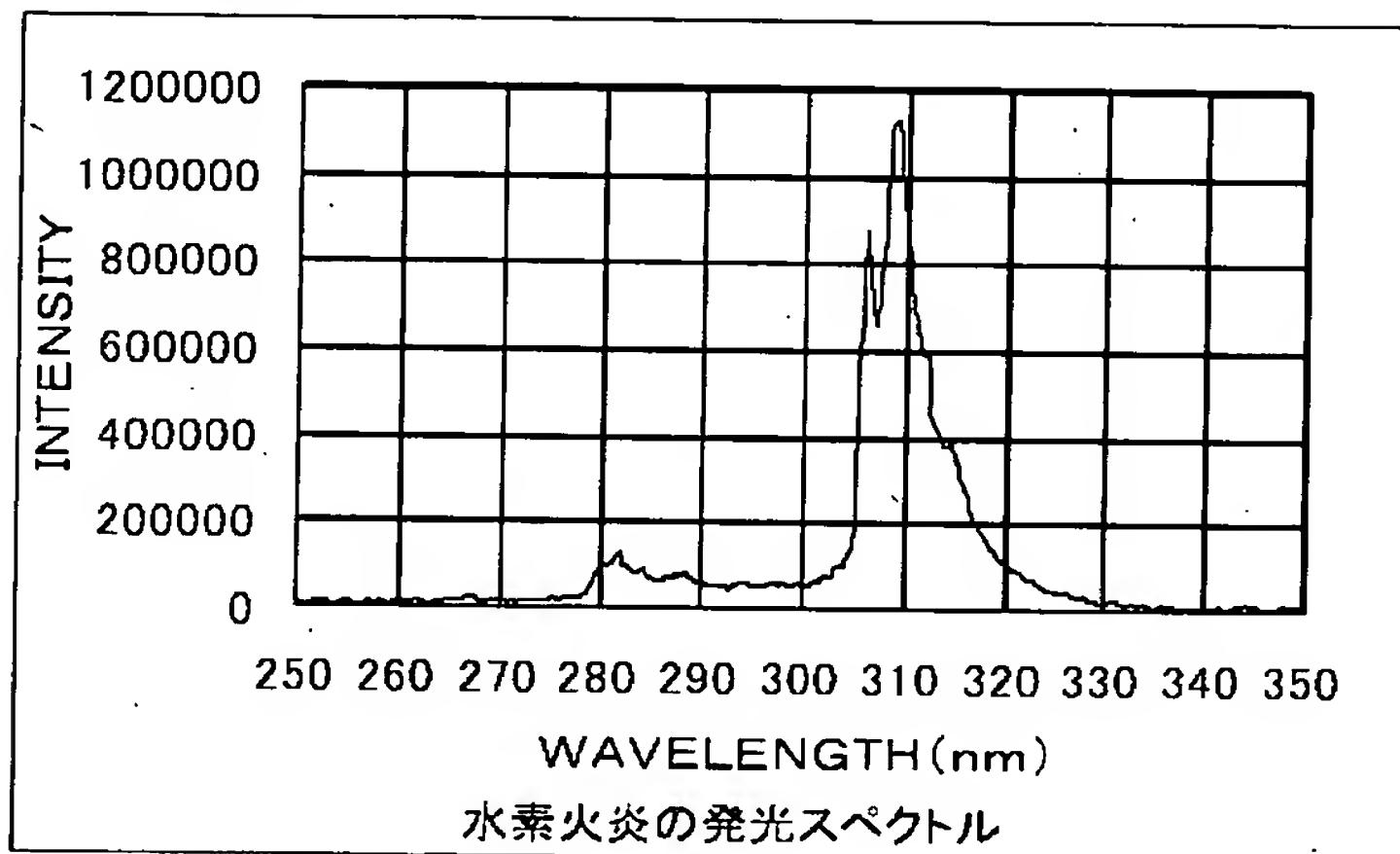
以上の波長が概ね416nmのレーザー光源である請求項8の水素ガス及び水素火炎監視装置。

- [10] 前記レーザー光源はレーザー光をパルス状に照射し、さらにレーザー光の照射パルスに同期して受光の開閉を行うイメージインテンシファイナーを有し、前記被検出光が発光する時間帯のみ前記集光を行う請求項8又は9の水素ガス及び水素火炎監視装置。
- [11] 前記概ね416nmのレーザー光源は、色素レーザー、チタンサファイアレーザー、光パラメトリック発振レーザー又は水素ラマンセルであることを特徴とする請求項8ないし10のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視装置。
- [12] さらに背景画像の撮像手段を有し、当該撮像手段による画像と前記特定波長の空間強度分布の画像とを重畠させる手段を有することを特徴とする請求項8ないし11のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視装置。
- [13] 前記撮像手段は、309nm、355nm及び416nmの波長に不感であることを特徴とする請求項12の水素ガス及び水素火炎監視装置。
- [14] レーザー光の照射時に水素ガスを監視し、レーザー光の非照射時に水素火炎を監視することを特徴とする請求項8ないし13のいずれかの水素ガス及び水素火炎監視装置。

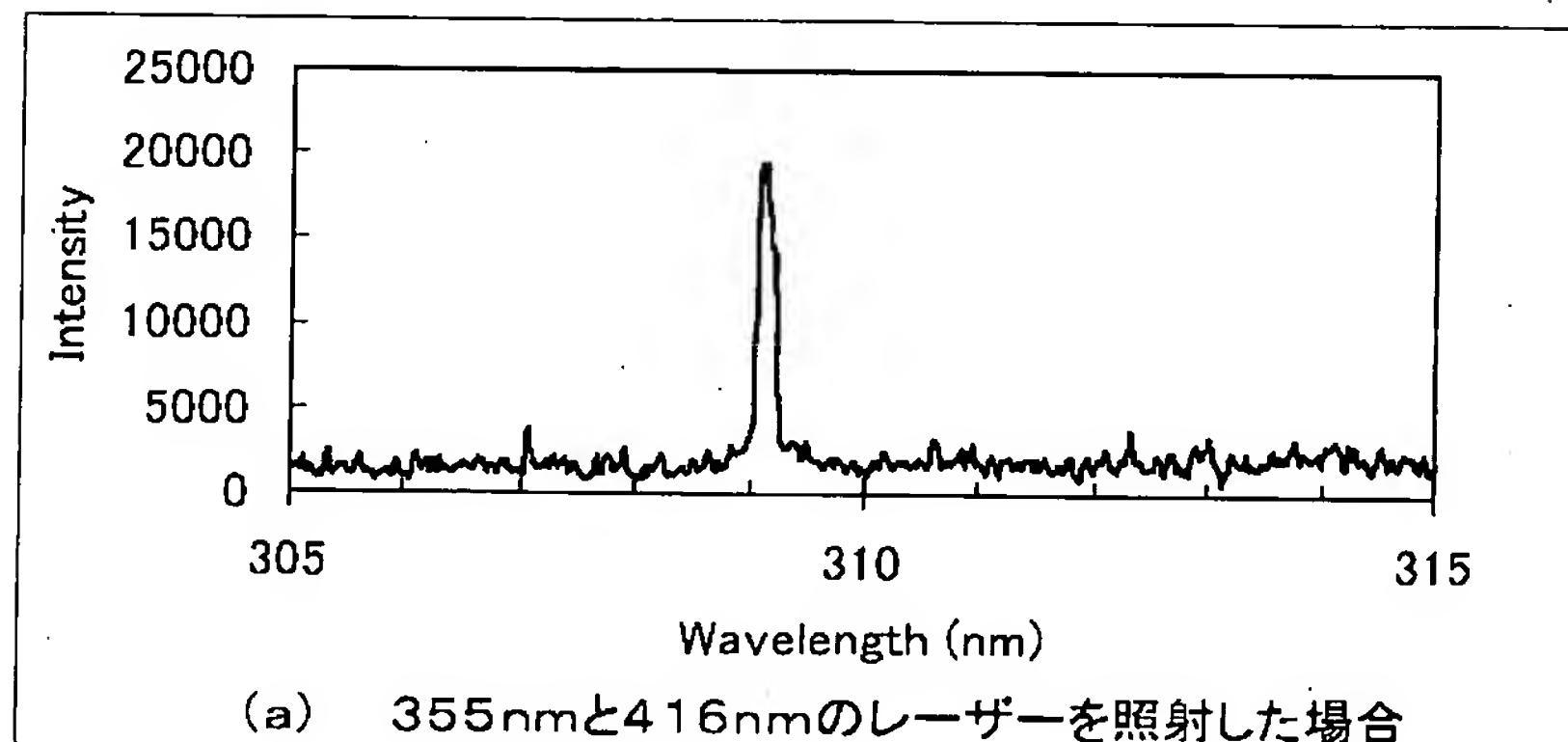
[図1]



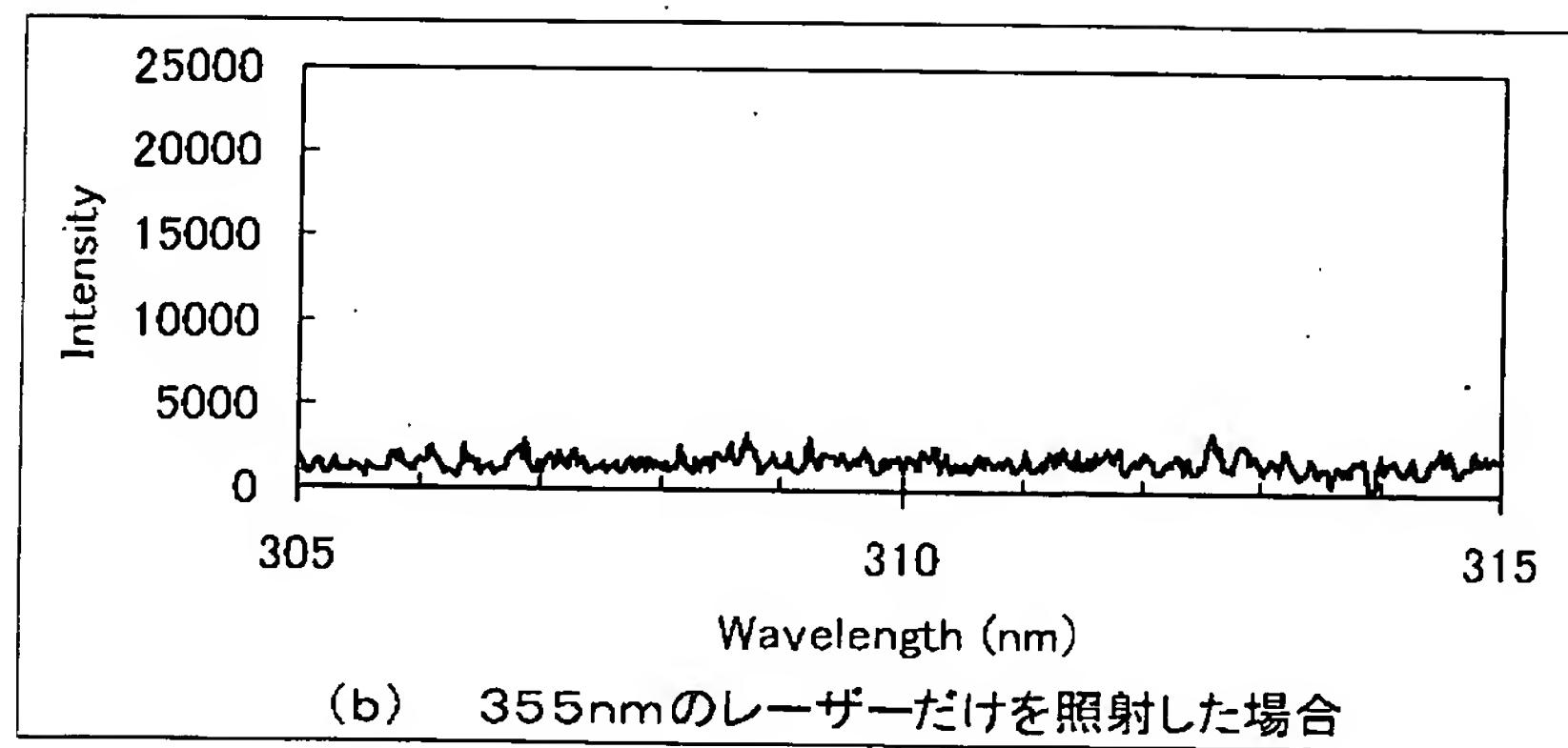
[図2]



[図3a]



[図3b]



[図3c]

